

原子力発電所の技術の高度化について

原子力計画部 次長
岡島 弘之



1 はじめに

60年5月現在、わが国で運転中の原子力発電所は、28基、2,056万kWの発電設備を有しており、59年度時点で総発電設備の14%、総発電電力量の約20%を占めるに至っている。また、58年11月発表の通産省電気事業審議会需給部会の電源構成表では、70年度原子力発電設備は4,800万kWと想定し発電設備構成比率の約23%、発電電力量の約35%を原子力発電が占めることを期待されている。

期トラブルにより稼働率が一時低下するなどの苦難を経験した。これらの原因究明を行うとともにプラント設計の改良、材料の自主技術による改良・開発に努力し、厳重な品質管理、運転管理および保守点検の徹底により稼働率および信頼性の向上を図ってきた。

また、50年度からは、信頼性の向上、被ばく低減、稼働率の向上を目標として、国を中心として電力会社、メーカーが協力して国の改良標準化を進めるとともに、電力共研および委託研究など、各種の信頼性実証研究を推進してきた。この結果、昨年度の運転中のプラントの稼働率は、73.9%と定期検査期間を除いて、ほぼフル稼働運転を達成し世界のトップレベルとなるに至っている。

さらに、現在第3次改良標準化計画として、いわゆる日本型軽水炉と称する電気出力130万kW級 ABWR (Advanced Boiling Water Reactor 新型沸騰水型原子炉) APWR (Advanced Pressurized Water Reactor 新型加圧水型原子炉) の基本仕様の確立を進めるとともに、第2次改良標準プラントの一層の改良標準化を官民一体となって検討している。

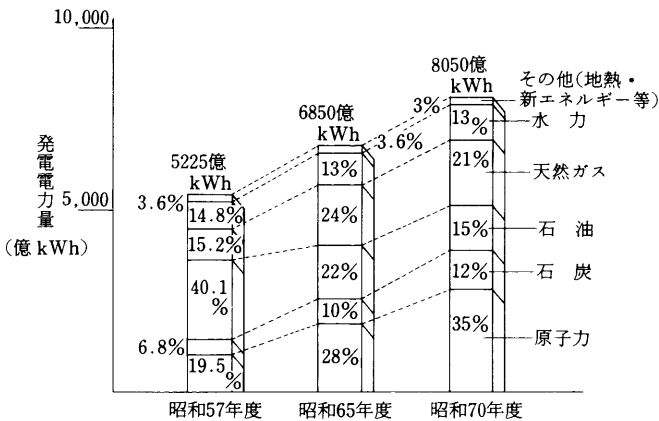
以下、ここでは特に軽水型原子力発電技術について、その変遷、改良標準化および最近の高度化設計の内、設計への取り組みについて述べる。

2 軽水型原子力発電技術開発の経緯

わが国における商業用原子力発電は、41年に英国から導入されたガス炉の運転開始によりスタートが切られたが、その後は米国で実用化された軽水炉を中心に開発が進められてきた。軽水炉の導入以降現在まで約20年経緯しているが、ほぼ5年毎に次の四つの時代に分けることができる。

(1) 海外技術導入時代

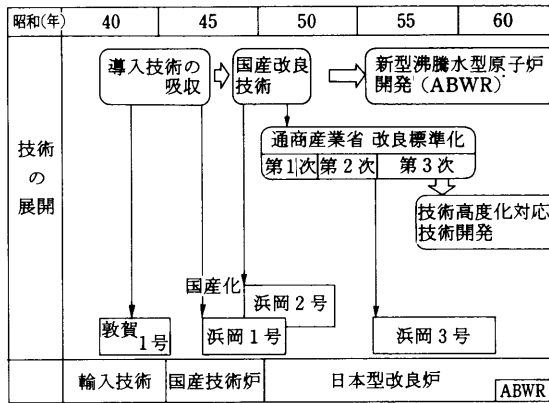
米国で実用化された軽水炉は、日本原子力発電敦賀1号、関西電力美浜1号、東京電力福島第1-1号などとして導入され、電力会社およびメーカーはその技術を消化し、国産化技術および建設体制を確立した。



出典：電気事業審議会需給部会中間報告 (昭和58年11月)

第1図 長期電力需給見通し

このような状況のなかで、わが国の原子力発電の経緯を顧みると、主として米国からの技術導入により出発した軽水炉は、初期には、いわゆる初



第2図 原子力発電技術開発の経緯

(2) トラブル対応時代

海外技術導入数年後から初期トラブルが発生し稼働率が低下し始めた。すなわち、BWR(沸騰水型炉)ではステンレス鋼配管の応力腐蝕割れ、PWR(加圧水型炉)では蒸気発生器の細管リーク、両者に共通する燃料損傷などが主なものである。対応策の検討、対応技術の開発などのため、稼働率の低下を始め多くの苦難を経験した。

(3) 改良標準化時代

トラブル対応の経験を踏まえて、わが国では、電力、メーカーおよび国も含めてその原因の究明を行うとともに類似事象の未然防止対策も含め、とるべき対策についてプラント設計の改良、新材料の開発などを積極的に推進してきた。

また、保守管理の重要性に鑑み、厳重な品質管理を行うとともに運転管理体制の強化、保守点検の徹底、運転員の資質向上などに努めてきた。

国レベルにおいても、50~55年度にかけて第1次・第2次改良標準化計画が、信頼性の向上、稼働率の向上および従業員の被ばく低減などを目的として実施された。

56~60年度にかけては、これまでの成果をベースにして第3次改良標準化を実施中である。これら改良標準化の内容については後述するが、この成果が世界でもトップレベルの高稼働率の時代につながっているといえる。

(4) 高度化時代

今後、軽水型原子力発電は、高速増殖炉の遅れもあって、電力供給に対する重要性がますます増大し、電力の安定供給確保、運転基数の増加、建設・運転・管理に携わる技術者・保守員の増加などに対応してゆく必要がある。同時に電力システムの運用面からのニーズに対応した負荷追従などの弾力的かつ計画的な運転が必要になる。

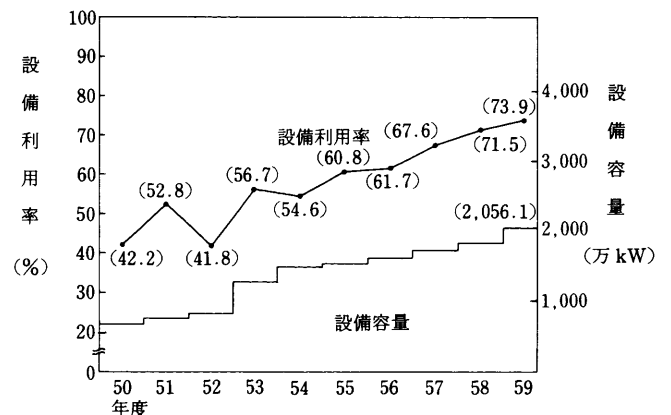
これらに的確に対応してゆくためには、

- ① 安全性の確保を大前提としつつ、より高度の信頼性・運転性を追求してゆくこと
- ② 在来型火力発電コストとの差が減少していることなどから原子力発電コストの低減を目指して一層の技術開発努力を図ってゆく必要が近年指摘されている。

また、これまでわが国の先導的役割を果たしてきた米国においては、需要の低迷および、TMI事故を契機とした許認可の複雑化などが原因して原子力開発が著しい停滞傾向を示しているため、自前で技術開発を図り、日本型軽水炉を確立する必要がある、以前にも増して高まっているといえる。このような状況を踏まえ、58年度以降、電力、メーカー、国が一体となって、このための取り組みが行われている。

3 設備利用率の変遷

最近の原子力発電所の設備利用率は、55年度に



第3図 わが国原子力発電所の設備利用率

60%を越した後も着実に上昇を続けてきており、58年度に70%を越え、昨年度は73.9%に達した。

これは毎年3～4カ月に亘り定期検査を慎重に行っていることを考慮すると、ほぼフル稼動に近い状態を示しており、わが国は世界の主な原子力発電所保有国の中でも極めて安定した運転実績を持っているといえる。

設備利用率の変遷を顧みると、初期トラブルに関わる要因について所要の改善措置が講ぜられ運転停止に連なるトラブルが減少したこと、内外の事故例や運転経験を積極的に反映しトラブルの未然防止を図ってきたこと、および定期検査の効率的実施が図られ定期検査期間が短縮したこと、さらには、連続運転期間が長期化したことなど信頼性向上、被ばく低減を目的とした改良標準化の成果が如実に現れているといえる。

4 軽水炉改良標準化

前述のとおり、国、電力、メーカーが一体となり50～55年度にかけて、第1・2次改良標準化が、56年度からは第1・2次改良標準化プラントのその後の改良と、標準化ができなかった廃棄物処理系などの標準化ならびに炉心を含む原子炉本体に至るまで自主技術を基本とした日本型軽水炉（ABWR、APWR）を確立することを目標に、第3次改良標準化が実施されている。

浜岡3号は、第1次改良標準化の成果はもちろん第2次改良標準化の成果も反映したプラントである。

(1) 第1次、第2次改良標準化

軽水炉の初期トラブルを経験し、この反省のもとに原子力発電所の安全性、信頼性をより一層向上させ、原子力発電に対するパブリック・アクセプタンスを得るとともに、稼動率の向上を図り、わが国の国情に適した軽水炉技術の定着を目指して50年度から52年度にかけて第1次改良標準化がスタートした。また53年度から55年度にかけて第1次改良標準化をベースとして、機器、システムなどにさらに改良を加えることにより、より一層

第1表 第1次、第2次改良標準化の目標および成果

	従来のプラント	第1次改良標準化プラント	第2次改良標準化プラント	改良策の例	
				BWR	PWR
信頼性および稼動率	プラントによりかなり異なる	約75%	約80%	・耐SCC材の採用 ・炉心改良設計の採用	・燃料の改良（ボーイング対策） ・蒸気発生器の改良
設備利用率	(同上)	約70%	約75%		
定期検査日数	90～100日 補修工事がない場合	約85日 (同左)	約70日 (同左)	・制御棒駆動機構自動交換器の採用 ・燃料交換器の改良	・原子炉容器蓋一体化構造物の開発 ・燃料検査システムの改良
従業員の被ばく	(100%とする)	約75%	約50%	・配管自動ISI機器の大幅導入 ・コバルトフリー代替材の採用	・蒸気発生器マニピュレーターおよび搭載装置 ・蒸気発生器水室ノズル蓋の改良
				改良型格納容器の採用 (第1次改良策)	

の信頼性の向上および従業員の被ばく低減を基本方針として、第2次改良標準化計画を進めた。

BWRプラントの第1次、第2次改良の目標および成果を第1表に示す。

(2) 第3次改良標準化

第1次、第2次改良標準化プラントの一層の改良および自主技術によるABWR、APWRの基本仕様の確立を基本方針として、56年度から60年度にかけて第3次改良標準化プログラムを推進している。

ア 改良計画および標準化計画

改良および標準化の目標は第2表に示す。

第2表 第3次改良標準化計画

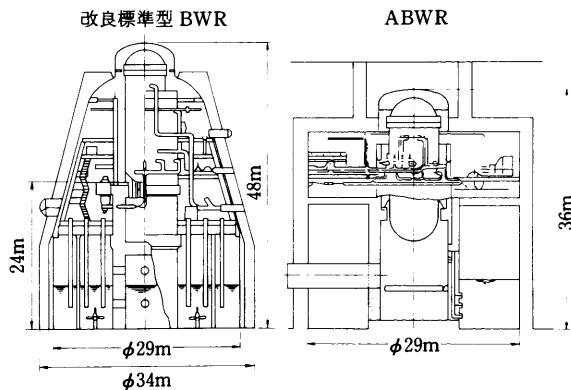
改良策	標準化	成果
在来型および新型軽水炉 (ABWR、APWR)	在来型および新型軽水炉	ABWR
1 在来型プラントの信頼性・稼働率等の一層の向上	1 耐震設計の標準化	設備利用率 : 約81%
2 在来型プラントの設計の合理化・適正化	2 許・認可関連事項の標準化	定検日数 : 約60日
3 建設工期の短縮等の検討	3 廃棄物処理方法の標準化	従業員の被ばく : 200マンレム
4 日本型軽水炉 (新型軽水炉) の仕様の確立	4 在来型標準プラント基本仕様の確立	以下

イ ABWRの概要

ABWRは、日本、米国、スウェーデン、イタリアの各BWRメーカーが共同で、各国の最新、最良の技術を組み合わせた安全性、経済性に優れたBWRを目標として検討した基本概念がスタートとなっている。これを第3次改良標準化の大きな柱として取り上げ、電力、BWRメーカー、国が一体となって検討、評価を進めている。58年度に基本設計と技術的、経済的評価を完了し、性能、経済性の面で優れた特性を持つことが確認された。現在、さらに経済性の向上を目的として技術改良が行われている。

主要な特徴としては以下のとおりである。

- ① プラント出力の大容量化 (130万kW)
- ② インターナルポンプの採用 (原子炉再循環系にインターナルポンプを採用し、システムの簡



第4図 改良標準型BWRとABWRの格納容器の断面

素化と格納容器のコンパクト化を実現)

- ③ 電動制御棒駆動装置の採用
- ④ RCCV (鉄筋コンクリート製原子炉格納容器) の採用

第4図に改良標準型BWRとABWRの格納容器の断面図を示す。高さを低減し耐震性に優れた配置になっている。

5 高度化への取り組み

- (1) 国レベルでの取り組み
- ア 高度化の提言

わが国の原子力技術の開発は海外からの技術導入により開始されたが、第1・2次改良標準化計画の推進、独自の技術開発努力ならびに建設・運転経験を通じてその技術の定着が図られて、今日では稼働率も高水準で推移するなど安定した運転実績を示すに至っていることは前述のとおりである。

今後の軽水炉の技術開発を取り巻く情勢の変化は、

- ① 厳しい財政・資金的制約下でより効果的な技術開発、プラント建設が求められていること
- ② 長期的には原子力発電の主流になると期待される高速増殖炉 (FBR) の実用化時期が、経済的条件の制約などから2010年より先になると見込まれていることから、軽水炉が原子力発電の主役を担う期間が長期化すること
- ③ わが国独自の技術開発が必要であることなどがあげられる。

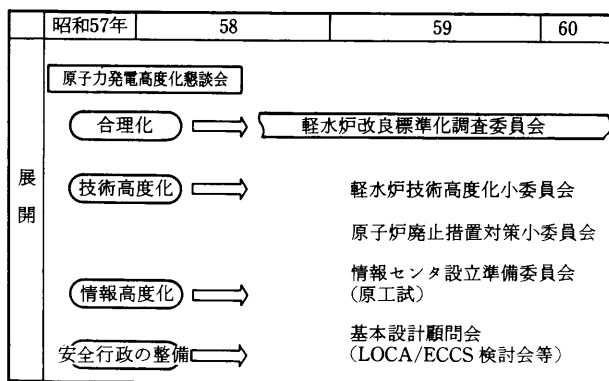
このような情勢を背景に、通商産業省の私的諮問機関である原子力発電高度化懇談会は、58年6月に「軽水炉50~100基稼働時代に対応した技術基盤の確立」、「原子力発電の経済的優位性確保」を目的として報告書を出し、次のように提言している。

- (ア) 原子力発電高度化のための基盤整備
- ① 情報の有効活用
- ② 人材の確保および育成 (マンパワーの高度化)
- ③ 技術基盤の確立 (技術の高度化)

(イ) 原子力発電の経済性向上（経済性向上のための基本方策）

- ① 標準化の拡大・徹底
- ② 設計の合理化
- ③ 建設工期の短縮
- ④ 購入方法の見直し
- ⑤ 品質管理の合理化
- (ウ) 高度化のための行政の対応
 - ① 安全行政の充実および効率化
 - ② 技術政策の拡充

この報告を受けて、第5図に示す種々の委員会が設置され、活発に検討を行っている。



第5図 技術高度化活動の状況

イ 高度化のための技術開発課題

原子力発電高度化懇談会の提言を受け、技術の高度化について検討するため、軽水炉技術高度化小委員会が設立され、59年8月に中間報告を行い高度化のための目標と技術開発課題を報告した。これらの技術開発課題について、現在、国レベルでは関係機関への委託研究、民間レベルでは電力共同研究などの場により、具体的に取り組む体制ができつつある。

技術開発課題は、次の通りである。

(ア) より高度の信頼性および経済性の追求

① 運転サイクルの最適化

a 定期検査の効率化

標準的な定期検査期間を現状の80日～120日程度から60日程度とするため、運転中検査技術の確

立や、定期検査の最適化に早期に着手する必要がある。

b 運転期間の長期化

現在11カ月程度である運転期間を、最大18カ月平均15カ月程度に延長するために、次の開発が必要である。

- (a) 高燃焼度燃料の開発を今後も積極的に推進する。
- (b) 長期連続運転にクリティカルとなる機器の健全性確認
- (c) 長期連続運転と燃料コストの関係における評価手法の確立

② 事故・故障の未然防止

現在、異常事故の早期発見と、対応ガイダンスの提示システムの開発を行っているが、さらに、機器の劣化診断・評価技術の開発、オンラインによる異常予知・評価手法の開発、運転実績に基づく最適化QA手法の確立が必要である。

③ プラント設計の高度化

システム設計の最適化、耐震設計手法の確立および環境に関連する機器の設計条件の最適化の一層の推進とさらに最適安全解析コードおよび評価手法の開発、運転実績に基づく最適QA手法の確立が必要である。

(イ) プラントの長寿命化

プラント寿命予測技術の開発、大型機器システムの再生・長寿命化手法の確立が必要である。

(ウ) 保守性の向上および被ばく低減

① 保守作業の遠隔化および自動化

保守作業用多目的ロボットの開発、自動化・遠隔化システムの開発に取り組んでゆく必要がある。

② 作業環境の改善

低コバルト材の開発などの放射化物質発生の低減化技術開発、放射化物質高度除染技術の開発を行ってゆく必要がある。

(エ) 運転性の向上

① 運転監視制御および操作性の向上

光多重伝送技術、デジタル制御技術を活用した

高度制御技術の適用を拡大してゆく必要がある。

② 電力系統への対応性の向上

負荷変動に応じた負荷追従性の向上と起動・停止の自動化・迅速化を図る必要がある。

- (イ) 廃棄物発生量の低減
- (ロ) 原子炉の解体にかかわる技術の確立
- (ハ) 立地の多様化

第四紀層立地技術の確証、評価の確立および建屋免震設計手法の確立が必要である。

(2) 当社の取り組み

当社としては国レベルの検討に積極的に参加するとともに、独自に建設費低減を目指した原子力プラントの設計合理化に関する研究を、下記目標を設定して59年度に実施した。

- ① 建設費 10～20%低減
- ② 建設工期 50カ月以下
- ③ 定期点検 45～60日程度に短縮

- ④ 被ばく 100～150マンレム/年
(H-3計画200～300)

- ⑤ 廃棄物発生量 100～500本/年
(H-3計画約800本/年)

合理化研究の成果の一例として建屋容積の比較を第6図に示す。

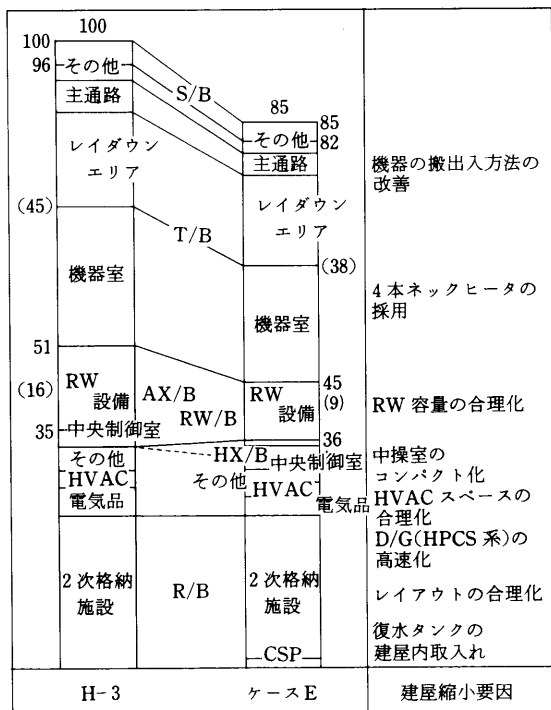
なお、60年度には、以下を実施する。

- ① 新技術の導入活用による原子力プラントの一層の合理化に関する研究(ABWRの適合性、合理化設計の具体化、新技術などの導入活用による原子力プラントの高性能化)
- ② 原子力プラントの建設工期の大幅短縮の可能性に関し、技術、法規制および経済性の諸観点からの調査研究

6 あとがき

以上、軽水型原子力発電技術の経緯について概観した。現在は原子力発電技術の比較的安定した時期とはいえるが、この状態に満足することなく技術は日進月歩すること、ここ当分は軽水炉時代が続くとの観点に立って、将来を見通しながら軽水炉技術の一層の高度化に、官民力を合わせて努力しているところである。

当社としても、これらに参画することはもちろん、常に時代を先見しながら、引き続き技術の高度化に取り組んでいくこととしたい。



第6図 建屋容積比較